GOUVERNEMENTS POST TELEGRAAF TELEFOON - DIENST

GALVANOMETER VAN SULLIVAN.

GESTEL MET KAP.

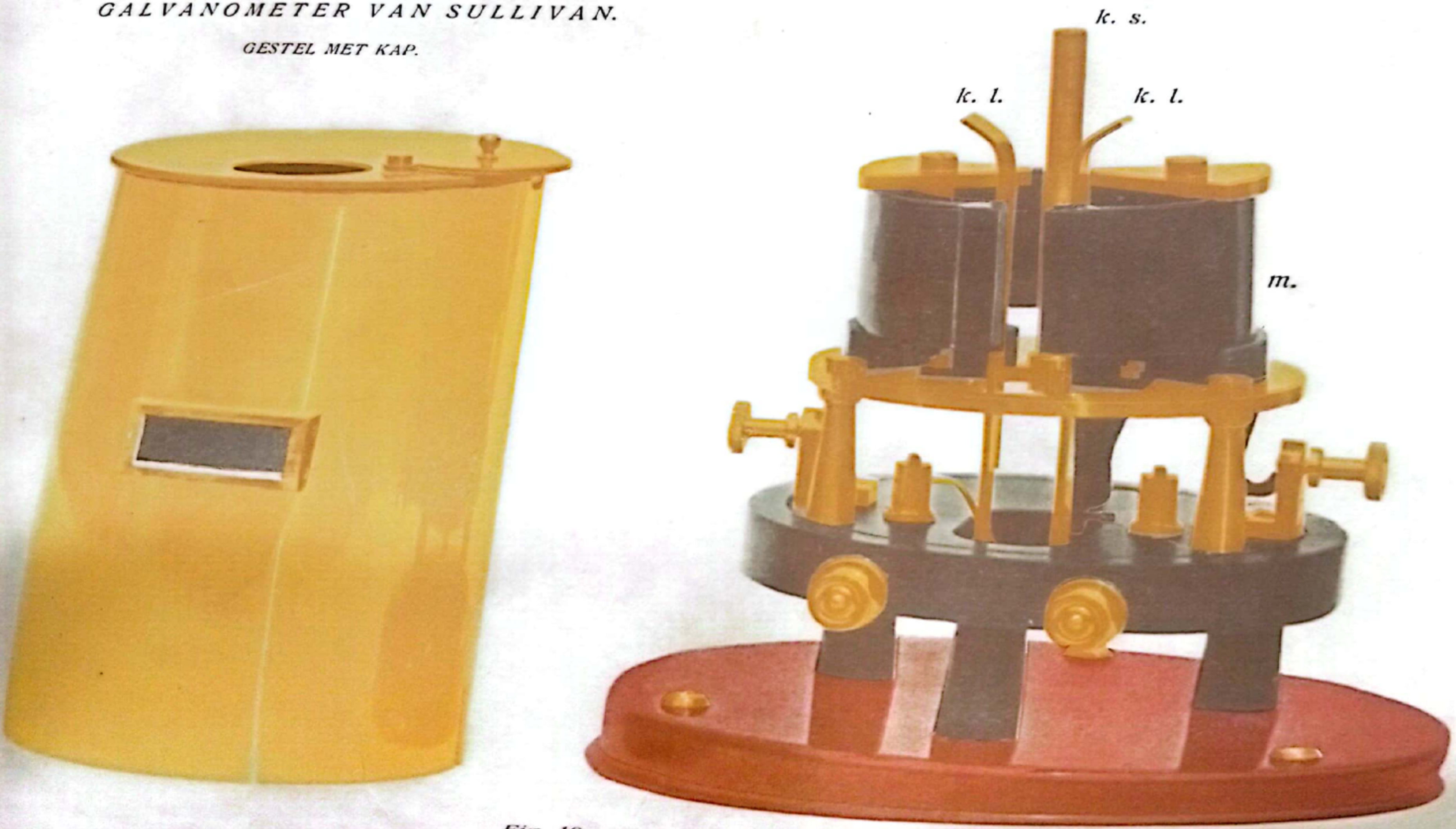


Fig. 10.

GOUVERNEMENTS

POST-, TELEGRAAF- en TELEFOONDIENST.

Verzameling van voorschriften voor den

Technischen Telegraafdienst.

HANDLEIDING VOOR DE ELECTRISCHE METINGEN VAN ZEEKABELS

Juli 1910.

INHOUD.

Hoofdstuk 5. Het bepalen van den isolatie-weerstand en de capaciteit.

Hoofdstuk 6. Plaatsbepaling van een kabelbreuk.

HOOFDSTUK 1.

GRONDBEGRIPPEN.

§ 1. Spanning, weerstand, stroomsterkte.

Tusschen de positieve en de negatieve pool van een element bestaat een *electrisch drukverschil.* Worden de polen door een geleidingsdraad met elkaar verbonden, dan stuwt dit drukverschil een *electrischen stroom* van de positieve pool door den sluitdraad naar de negatieve pool, en van de negatieve pool, door het element, naar de positieve pool, in rondgang, terug.

De scheikundige werking, welke de verschillende stoffen in het element op elkaar uitoefenen, onderhoudt het electrisch drukverschil tusschen de beide polen. Die scheikundige werking kan vergeleken worden met de werking van een, in een waterleidingsstation opgestelde pomp, welke, doordat zij het topreservoir van den watertoren gedurig bijvult, den druk in de leiding onderhoudt. De drukhoogte van het water in het reservoir perst het leidingwater naar de aftapkranen, waar het afvloeit zoodra tengevolge van het opendraaien van een kraan, vrije doorgang geboden wordt — electrisch gesproken, zoodra de sluitdraad doorgang biedt aan den electrischen stroom.

De hoeveelheid water, welke per secunde door de pijpleiding vloeit, hangt af:

1. van den druk in de leiding, en
2. van den totalen weerstand, welke door het pijpsysteem aan het doorstroomende water wordt geboden.

Zoo hangt de hoeveelheid electriciteit, welke per secunde door den sluitdraad vloeit, de zoogenoemde *stroomsterkte* af:

van het electrisch drukverschil tusschen de polen van

1. van het element, dat is van de spanning e, en
2. van den weerstand, welke door den sluitdraad aan den electrischen stroom geboden wordt.

Die stroomsterkte, rechtevenredig met de spanning e, en omgekeerd evenredig met den weerstand r, vindt eene uitdrukking in de formule: $i = \frac{e}{r}$, de bekende Wet van Ohm.

In woorden: *Een spanning* e, *in een gesloten geleider met een weerstand* r, *jaagt door dien geleider een stroom ter sterkte* i *gelijk aan* $\frac{e}{r}$. Dikwijls levert het gemak op de formule te schrijven in den vorm $i.r = e$, en haar dan onder woorden te brengen: Om een stroom ter sterkte i te jagen door een weerstand r is noodig een spanning e, gelijk aan i.r.

De practische eenheid van spanning noemt men Volt, die van weerstand Ohm, en die van stroomsterkte Ampère zooals de eenheden van lengte, gewicht en tijd achtereenvolgens Meter, Kilogram en Secunde genoemd worden.

Is de stroomsterkte in een geleider gelijk aan een ampère, dan stroomt per secunde langs ieder punt van dien geleider een hoeveelheid electriciteit, gelijk aan de *eenheid van hoeveelheid van electriciteit*. Deze eenheid van hoeveelheid van electriciteit duidt men aan met den naam Coulomb. Een statische lading, bijvoorbeeld van een condensator of van een kabel, wordt in deze eenheid uitgedrukt.

De spanning van een element is een gevolg van de *electromotorische kracht*, dat is de geheimzinnige kracht, welke haar oorsprong vindt in de scheikundige werking der samenstellende stoffen van het element en welke de electriciteit in beweging tracht te zetten.

In analogie met dezen veelal niet dadelijk begrepen term, zou men een locomotief de „treinmotorische kracht" kunnen noemen. De trekkracht van de locomotief zou men dan mogen vergelijken met de „spanning" van het element.

Er worde in herinnering gebracht dat het in de telegrafie zoo belangrijke element van Leclanché een spanning heeft van nagenoeg 1.5 Volt, en het Trog...

anders dan een gewijzigd Daniell element is, een spanning van 1.07 Volt. Aan de onveranderlijkheid der spanning heeft dit Daniell element eene toepassing als Normaalelement te danken. In den lateren tijd is het als zoodanig vervangen.

§ 2. Soortelijke weerstand.

De weerstand r van een draad hangt af van diens lengte, doorsnede en van den aard van het materiaal waaruit die draad is vervaardigd.

Men noemt den weerstand tusschen twee overstaande zijvlakken van een kubieken centimeter van eenig materiaal den *soortelijken weerstand* ρ van dat materiaal, 100 van zulke kubussen achter elkaar hebben een weerstand 100 ρ, en deze meterlengte van het materiaal met eene doorsnede, welke 100 maal kleiner, dus 1 m. m^2. bedraagt, heeft een weerstand, welke weer 100 maal grooter, bijgevolg 10000 ρ groot is.

In het algemeen:

$$r = \rho \frac{\text{lengte v/d draad in c. m.}}{\text{doorsnede v/d draad in c. m}^2\text{.}} \text{ ohm.}$$

Indien gegeven wordt dat de soortelijke weerstand van koper 1.7 millioenste ohm bedraagt, het kopergewicht per zeemijl van zekeren zeekabel 130 engelsche ponden, berekene men den weerstand per zeemijl van dien kabel, waarbij worde aangenomen dat een engelsch pond gelijk is aan 453 gram, dat het soortelijk gewicht van koper gelijk is aan 8.9, en dat een zeemijl gelijk is aan 1855 meter [1]).

§ 3. De verandering van den electrischen druk langs een draad, waar stroom doorgaat.

In fig. 1 zij xy een uitgespannen draad met een weerstand r, het punt x zij met de positieve, het punt y met de negatieve pool van een element verbonden. De lengte van de lijn xV stelle den electrischen druk van de positieve pool, die van yv den electrischen druk van de negatieve pool voor. Het drukverschil xV-yv is dan een maat voor de spanning e van het element, en bepaalt, in verband met den weerstand r van draad xy, de sterkte van den stroom door xy.

---

[1]) Overal waar in deze handleiding sprake is van de lengte-eenheid „mijl", wordt de hier omschreven zeemijl bedoeld.

De lijn vv' zij evenwijdig aan xy getrokken, de spanning e wordt dan gemeten door v'V.

Verbindt men nu punt y, of de negatieve pool der batterij met de aarde, dan wordt de electrische druk in dit punt gelijk aan de electrische der aarde, dat is gelijk aan nul. [1])

De electromotorische kracht in het element zorgt nu evengoed dat de druk in het punt x e Volt meer bedraagt dan de druk in het punt y, zooals ook een waterleidingpomp het niveau in het topreservoir evengoed op peil houdt wanneer de pompcentrale in een laagland dan wel op een hoogvlakte gemonteerd staat.

In de figuur kan het gevolg van deze aardverbinding worden voorgesteld door de lijn v'v te laten samenvallen met de lijn xy (fig. 2).

De stroomsterkte in den draad bedraagt volgens de wet van Ohm $i = \frac{e}{r}$ ampère, daar e het drukverschil van het element in volts, en r de weerstand van den draad in ohms is. De electrische druk neemt langs den draad af van e tot nul volt, een verloop dat grafisch wordt voorgesteld door de afstanden van de opvolgende punten van xy (fig. 2), loodrecht omhoog gemeten tot de lijn Vy. Halverwege tusschen de punten x en y bedraagt de electrische druk $\frac{1}{2}$e, en de stroom i tusschen dit punt en punt y kan men evengoed beschouwen als opgewekt door deze spanning $\frac{1}{2}$e in een draad met een weerstand $\frac{1}{2}$r, zoodat $i = \frac{1/2 e}{1/2 r} = \frac{e}{r}$.

In het algemeen bestaat tusschen de uiteinden van een weerstand R, waardoor een stroom gaat ter sterkte I, een spannings verschil gelijk aan I.R, welke wet van Ohm nog eens herhaald worde in dezen vorm:

Het electrisch drukverschil tusschen twee punten van een geleider, waar een stroom van constante sterkte doorgaat, is evenredig met den weerstand tusschen die beide punten.

---

[1]) Gewoonlijk neemt men aan dat de electrische druk van de aarde gelijk is aan nul. Hieruit volgt dat een lichaam onder grooteren electrischen druk dan de aarde staat, indien bij geleidend contact een stroom van het lichaam naar de aarde vloeit, het lichaam is dan positief geladen. Vloeit de stroom in omgekeerde richting, dan staat het lichaam onder kleineren electrischen druk dan de aarde, is negatief geladen.

§ 4. Inwendige weerstand van een element.

In het voorafgaande is geen rekening gehouden met den inwendigen weerstand van het element, zoomin als met den weerstand van de draden, welke de polen met de punten x en y verbinden.

Men denke zich nu een element met een electromotorische kracht van E volt en een inwendigen weerstand van r_i ohm, terwijl de polen verbonden zijn door een draad met een weerstand van r_u ohm (uitwendige weerstand).

De stroom, welke door den gesloten keten wordt gejaagd, zal $i = \frac{E}{r_i + r_u}$ ampère sterk zijn, gevolg van de Wet van Ohm.

Om in den uitwendigen weerstand een stroom $i = \frac{E}{r_i + r_u}$ te onderhouden, is volgens het voorafgaande tusschen de uiteinden van r_u een spanningsverschil van i maal r_u of van $\frac{E}{r_i + r_u} r_u$ volt noodig. Dit spanningsverschil staat bijgevolg op de polen na het sluiten van den keten. Uit de formule blijkt dat de electromotorische kracht van het *niet* gesloten element grooter is dan de pool- of klemspanning van het *wel* gesloten element. Dat dit wel het geval zijn moet wordt duidelijk wanneer men bedenkt dat een deel van de electromotorische kracht verloren gaat ten koste van het jagen van den stroom i door den inwendigen weerstand van het element. Het bedrag van dit deel is gelijk aan het produkt i maal $r_i = \frac{E}{r_i + r_u} r_i$, zoodat voor den uitwendigen draad overblijft $E - \frac{E.r_i}{r_i + r_u} = \frac{E.r_u}{r_i + r_u}$, eene uitdrukking welke met de eerst gevondene in overeenstemming is.

§ 5. Geschakelde elementen.

Staan n elementen achter elkaar, (serieschakeling) d. w. z. is de positieve pool van het eerste element verbonden met de negatieve pool van het tweede element, de positieve pool van het tweede element met de negatieve pool van het derde element en zoo vervolgens, dan verhoogt Ik

element het totale spanningsverschil met het bedrag van de electromotorische kracht E, en heerscht tusschen de eerste negatieve en de laatste positieve pool een spanningsverschil van nE volt. De inwendige weerstand van de aldus gevormde batterij bedraagt nr_i ohm, omdat de stroom bij gesloten keten achtereenvolgens door n inwendige weerstanden r_i moet worden gedreven. Heeft de sluitdraad een weerstand r_u dan is: $i = \frac{nE}{nr_i + r_u}$

Staan n elementen naast elkaar (parallelschakeling), d. w. z. zijn zoowel alle positieve als alle negatieve polen onderling door een draad verbonden, dan is het alsof men van één element de positieve en de negatieve platen n maal grooter heeft gemaakt. De electromotorische kracht der batterij is dezelfde als die van één element, want deze wordt niet bepaald door de *hoeveelheid* der samenstellende deelen van het element, doch alleen door den *aard* der scheikundige werking dier deelen onderling. De inwendige weerstand der nu gevormde batterij is n maal kleiner geworden, want door de n maal grootere oppervlakte der polen en door de n maal breedere vloeistofkolom vindt de electrische stroom een n maal breederen doorgang van de negatieve naar de positieve pool. Heeft de sluitdraad een weerstand r_u, dan is

$$i = \frac{E}{\frac{r}{n} + r_u}$$

Eene toepassing der serieschakeling vindt men in de gangbatterij van een telegraafverbinding. Het aantal achter elkaar te verbinden elementen moet zoo groot zijn dat de totale spanning in den onderhavigen telegraafketen een stroom opwekt van voldoende sterkte om de ingeschakelde relais te doen werken. Deze stroomsterkte varieert van 5 tot 20 milliampere (m. a.) en kan zonder bezwaar door een gangbatterij van Leclanché elementen worden geleverd.

Een motor van een Recordertoestel verbruikt bij een spanning van 4 volt een stroom van 500 m. a. Werd deze stroom ontnomen aan een Leclanché batterij van 3 elementen (4.5 volt), dan zou deze al spoedig uitgeput raken, en de motor bijgevolg stil blijven staan.

Zet men nu meerdere, b. v. 5 seriën van 3 Leclanché elementen naast elkaar, (waarbij de spanning gelijk 4.5 volt blijft) dan wordt het vermogen om stroom te leveren vijf maal grooter. Deze toepassing

van eene parallelschakeling kan te pas komen bij eene eventueele kabelstoring, wanneer tijdens de herstelling in de kabelhut gedurende korten tijd aan den recorder wacht moet worden gehouden, en het vervoer of de opstelling eener trogbatterij met bezwaren gepaard mocht gaan.

Op den langen duur zou de hier bedoelde Leclanché batterij een recordermotor niet kunnen drijven. Om de batterij te sparen, laat daarom de wachthebbende in een kabelhut den motor, zoolang het kabelschip niet roept, zoo langzaam mogelijk loopen.

Het wordt den lezer overgelaten om een zeker aantal elementen in verschillende groepen achter en naast elkaar te schakelen, en voor ieder geval de totale spanning en den totalen inwendigen weerstand te berekenen. (b. v. 24 elementen op 8 manieren).

§ 6. Stroomvertakking.

Een draad, komende van de positieve pool van een batterij, splitse zich in een zeker punt a in twee takken, welke weder samenkomen in een punt b, en waarvan de weerstanden resp. r_1 en r_2 bedragen. De beide takken zijn „parallel" geschakeld. Het punt b zij met de negatieve pool verbonden.

De sterkte van den stroom, welke van de positieve pool naar punt a vloeit zij I, die van den stroom door den r_1- draad gelijk aan i_1, en die van den stroom door den r_2- draad gelijk aan i_2.

Daar wegens de niet samendrukbaarheid der electriciteit in het punt a geen ophooping van electriciteit kan plaats hebben, voeren de beide parallele draden samen den door den pooldraad aangevoerden stroom af, zoodat $I = i_1 + i_2$.

Dit is de algebraische uitdrukking voor de 1ste wet van Kirchhoff, welke in woorden luidt:

De som der naar eenig punt aangevoerde stroomsterkten is gelijk aan de som der van dat punt afgevoerde stroomsterkten.

Gedurende den stroomdoorgang zij de electrische druk in punt a gelijk aan V_a en die in punt b gelijk aan V_b, dan kan men zich voorstellen dat de stroomen i_1 en i_2 beiden worden opgewekt door een spanningsverschil V_a-V_b, resp. in geleiders met de weerstanden r_1 en r_2 en is volgens de Wet van Ohm:

V_a-$V_b = i_1 . r_1$, en ook:
V_a-$V_b = i_2 . r_2$; zoodat: $i_1 . r_1, = i_1 . r_2$ of: $i_1 : i_2 = r_2 : r_1$.

Dit is de algebraïsche uitdrukking voor de 2de wet van Kirchhoff, welke in woorden luidt:

Indien een stroom zich splitst in twee takken, zijn de stroomsterkten in die beide takken omgekeerd evenredig met de bijbehoorende weerstanden dier takken.

Splitst een waterleidingpijp zich in twee andere pijpen, dan doet zich een analoog geval van stroomsplitsing voor. Heeft toch de eene pijp een n maal grootere doorsnede dan de andere, dan zal door die eerste pijp ook n maal meer water gedreven worden, m. a. w. de stroomsterkten in de beide pijpen verhouden zich als de doorsneden der pijpen, dat is *omgekeerd als de weerstanden* der pijpen, daar toch een n maal wijdere buis aan het water een n maal kleineren weerstand biedt.

Volgens de 1e Wet van Kirchhoff is:

$$I = i_1 + i_2 = \frac{V_a\text{-}V_b}{r_1} + \frac{V_a\text{-}V_b}{r_2} = (V_a\text{-}V_b)\ \left(\frac{I}{r_1} + \frac{I}{r_2}\right) = \frac{V_a\text{-}V_b}{\frac{r_1\ r_2}{r_1 + r_2}}$$

De twee parallele draden kunnen bijgevolg vervangen gedacht worden door een draad met den weerstand $\frac{r_1\ r_2}{r_1 + r_2}$ gewoonlijk de „gecombineerde weerstand" genoemd.

De weerstand van den draad, die de polen van het element met de punten a en b verbindt, zij r_u, de electromotorische kracht van het element E en de inwendige weerstand gelijk r_i, dan is in verband met het voorafgaande de sterkte van den totaal opgewekten stroom:

$$I = \frac{E}{r_u + r_i + \frac{r_1\ r_2}{r_1\ r_2}}$$

Nu wordt gevraagd de stroomsterkten i_1 en i_2 in. I, r_1 en r_2 uit te drukken, eene opgaaf van zuiver algebraischen aard. Bekend is dat:

$i_1 + i_2 = I$, (1ste wet van Kirchhoff) en:
$i_1 : i_2 = r_2 : r_1$ (2de „ „ „) } waaruit volgt:
$i_1 + i_2 = I$ en
$(i_1 + i_2) : (r_2 + r_1) = i_2 : r_1 = i_1 : r_2$ } bijgevolg:

$$i_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} I \text{ en } i_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} I.$$

§ 7. Capaciteit.

De electriciteit werd tot hiertoe steeds in den toestand van beweging beschouwd. Ook de rusttoestand speelt bij kabelmetingen een rol, waarom hierover ter inleiding tot de later te bespreken capaciteitsmeting het volgende wordt gezegd.

In fig. 3 kan de kabel K door middel van een sleutel sl met de negatieve pool der batterij b in verbinding gebracht worden. De positieve pool zij aan de aarde gelegd, het andere kabeleind in de overliggende kabelhut geisoleerd.

Wordt de sleutel neergedrukt, dan wordt door de spanning der batterij in den kabel een stroom gejaagd, welke aan het geisoleerd einde niet weg komen kan. De kabel is nu „geladen", staat onder den electrischen druk van de batterij, en behoudt de lading zoolang de batterij verbonden blijft. Ook wanneer de sleutel weder open wordt gezet, blijft de kabel geladen, daar de beide kabeleinden dan geisoleerd zijn, de lading bijgevolg niet afvloeien kan.

Doch wordt een der beide kabeleinden met de aarde verbonden, dan heeft eene ontlading plaats, en de electrische druk in den kabel wordt gelijk aan die der aarde, d. i. gelijk nul.

Het verschijnsel kan vergeleken worden met de lading van een buis, welke aan het eene einde door middel van een kraan met een gasreservoir onder druk verbonden, en aan het andere einde afgesloten is. Wordt de kraan geopend, dan stroomt het gas in de buis, totdat in de buis dezelfde druk heerscht als in het reservoir. Nu mag als bekend ondersteld worden dat de hoeveelheid gas in de buis afhangt van den druk p in het reservoir en van het volume v der buis; dat die gaslading L evenredig is met deze beide grootheden, en bijgevolg voldaan zal worden aan de vergelijking $L = p.\ v.$

Eveneens is de electrische lading q evenredig met den electrischen druk e van de batterij en met het electrisch bevattingsvermogen van den kabel — kortweg zijne capaciteit C genoemd — zoodat: $q = C\ e.$

Daar de capaciteit van een kabel evenredig is met de kabellengte l, is $C = c.\ l$, als c de kabelcapaciteit per mijl, en l de lengte van den kabel in mijlen voorstelt.

De eigenschap om betrekkelijk groote hoeveelheden electriciteit te kunnen opnemen, ligt in de constructie van den ader van den kabel (zie Hoofdstuk 2), welke geheel beantwoordt aan de samenstelling van een *electrischen condensator.*

Een condensator bestaat uit twee goede geleiders der electriciteit, gescheiden door een slechten geleider. De eenvoudigste uitvoering van dit principe treft men aan in de aan beide zijden met bladtin beplakte glazen plaat, van welke constructie de Leidsche flesch eene modificatie is.

Worden de beide vellen bladtin elk met een der polen van een batterij verbonden, dan verzamelt de condensator eene hoeveelheid electriciteit.

Bij een kabel is de koperen kern de eene goede geleider, het zeewater de andere, terwijl het gutta percha omhulsel den slechten geleider vertegenwoordigt. In overeenstemming met de verbinding van den bladtin condensator, werden de batterijpolen resp. met den koperen kern en met het zeewater (de aarde) verbonden.

Men denke zich nu een zekere, aan een einde geïsoleerde kabellengte, welke door een electriciteitsbron met eene spanning van $e = 1$ volt eene lading verkrijgt van $q = 1$ coulomb. Dan heeft die kabellengte de eenheid van capaciteit, daar in dit geval de formule $q = C. e$ alleen dàn opgaat, wanneer $C = 1$ wordt gesteld. Deze eenheid van capaciteit noemde men „Farad".

De bedoelde kabellengte zou voor kabels als die van den P. en T. dienst ongeveer drie millioen mijl lang zijn; de farad is bijgevolg voor de practijk een onhandig groote eenheid en daarom drukt men capaciteiten uit in millioenste deelen van een farad, microfarads genaamd.

Wordt een capaciteit van één microfarad geladen tot een spanning van een volt, dan bedraagt de lading het millioenste gedeelte van een coulomb of een microcoulomb.

De capaciteit der Ned.-Indische zeekabels bedraagt ongeveer $^1/_3$ microfarad per mijl. Men ga na welke lading de Macassar-Balikpapan kabel verzamelt bij een spanning van een Leclanché batterij van 10 cel. Lengte van den kabel 337 mijl.

HOOFDSTUK 2.

SAMENSTELLING VAN DEN ZEEKABEL.

§ 1. De ader.

De *electrische* eigenschappen van een zeekabel worden volkomen bepaald door de constructie van den *Ader*, dat is de met gutta-percha geisoleerde koperen geleider van den seinstroom, kortweg „kern" genoemd.

Deze kern bestaat bij de tot dusver in den Indischen Archipel gebezigde kabels uit zeven koperdraden, waarvan er zes om den zevenden, den „hartdraad", gewonden zijn.

De diameter der koperdraden bepaalt den geleidingsweerstand per lengte-eenheid van den kern. Deze diameter bedraagt bij de Ned.-Indische zeekabels 0.81 of 0.71 mm, overeenkomende met totale kopergewichten resp. van 130 en 107 engelsche ponden per mijl, en geleidingsweerstanden resp. van 9.- en 11.2 ohm per mijl.

De isolatie bestaat uit drie lagen gutta-percha, tusschen welke een plakmiddel, het zoogenoemde Chatterton compound, een mengsel van gutta-percha, Stockholmsche teer en hars, is aangebracht.

Ter omschrijving van een ader noemt men eenvoudig de betreffende koper- en gutta-percha gewichten per mijl.

Daar de koperen kern van 130 pond geisoleerd is met een gutta-percha omhulsel dat ook 130 pond weegt, noemt men den ader kortweg: 130—130. Zoo heet de ader met een kern van 107 pond koper: 107—140, omdat het bijbehoorende gutta-percha gewicht 140 pond bedraagt.

De capaciteit van den ader 130—130 bedraagt per mijl ongeveer 0.33, die van den ader 107—140 ongeveer 0.31 microfarad.

§ 2. Het messingband.

De Teredo navalis of paalworm, een onderzeesch weekdier, dat voorkomt tot op diepten van ongeveer 400 vaam, vreet de gutta-percha bij voorkeur aan, en verstoort daarmede de goede werking van de isolatie. De ader van eenigen kabel voor ondiep water wordt daarom, ter bescherming tegen dit schadelijk weekdier, bewikkeld met een messingband van 0.1 m.m. dikte, waarom een in ozokeriet gedrenkt netelband gewikkeld wordt.

§ 3. De bescherming.

De weerstand van den kabel tegen beschadiging hangt af van de „bescherming"— dat is van het aantal en van den diameter der ijzeren beschermingsdraden, welke om den al dan niet met messingband omwikkelden ader zijn aangebracht. Ter voorkoming van beschadiging ,van den ader tengevolge van den druk der beschermingsdraden, wordt onmiddellijk om den ader of om het messingband een laag jute gesponnen.

In ondiep water liggen zwaar beschermde kabels; daar toch bestaat de meeste kans op beschadiging, b. v. tengevolge van het grijpen van den kabel door scheepsankers, en tengevolge van algemeene slijtage wegens krachtige waterbeweging. Hoe dieper een kabelbed ligt, hoe lichter de bescherming van den daarop uit te leggen kabel gemaakt mag worden.

In het Ned.-Indische kabelnet komen de volgende kabeltypen voor:

Type	Beschermd met
A	10 draden van 10 m.m. diameter.
E	10 „ „ 7.1 „ „
B	10 „ „ 5.1 „ „
C	12 „ „ 3.1 „ „
D	14 „ „ 2.1 „ „

Om de bescherming wordt nog een laag jute of band, gedrenkt in een bederf werende stof, aangebracht.

In het Ned. Indisch kabelnet komt kabel van het type A alleen voor in de strandeinden van den kabel van Singaradja naar Makasser.

Kabel van het type E werd bij de legging van verscheidene strandkabels toegepast.

De Java-Zee kabels bestaan hoofdzakelijk uit het kabeltype B, terwijl kabel van het type D voornamelijk wordt aangetroffen in de verbindingen Makasser-Balikpapan-Menado.

HOOFDSTUK 3.

TOESTELLEN.

---

§ 1. Sleutels.

a. De *Quadrantencommutator,* zoo genoemd naar de vier quadranten, welke het bovenaanzicht van fig. 4 te zien geeft.

De beide draden a, die den stroom aanvoeren (van de batterij bijvoorbeeld) worden resp. aan elk van twee overstaande quadranten verbonden, de beide draden b, die den stroom verder geleiden, aan het andere quadrantenpaar. De stand der stoppen in de openingen 1 of 2 bepaalt de polariteit der draden b.

b. De *batterijsleutel,* (kabelsleutel) in bovenaanzicht afgebeeld in fig. 5.

De koperen reepen r_1 en r_2 zijn vastgeklemd in de punten a en b, worden door eigen veerkracht naar boven gedrukt tegen een koperen stuk, waaraan de koolpool k van een batterij verbonden wordt gedacht. Worden de reepen r_1 of r_2 neergedrukt, dan maken zij contact met het onderliggend koperen stuk, waaraan de zinkpool (z) verbonden is. De contacten worden gevormd door aan het koper gesoldeerde platina plaatjes en stiften. In den ruststand van den sleutel is de zinkpool geïsoleerd, kan de batterij bijgevolg geen stroom geven.

Wordt r_1 neergedrukt, dan is de klemschroef bij a met de zink-, die bij b met de koolpool verbonden. Het neerdrukken van r_2 draait deze polariteit der punten a en b om. De koperen reepen r_1 en r_2 kunnen elk middels een ebonieten nok op het werkcontact vastgezet worden.

De batterijsleutel werkt dus niet anders dan een quadrantencommutator. Men ga na hoe de ruststand van den batterijsleutel met den quadrantencommutator kan worden nagebootst.

c. De *onderbrekingssleutel*, (fig. 6) behoeft geen nadere toelichting.

d. De *Kortsluitingssleutel*, (fig. 7) maakt in den ruststand contact tusschen de beide aangeklemde draden. Staat deze sleutel parallel op een galvanometer dan zal deze, practisch gesproken, stroomloos blijven, daar de weerstand van de koperen reep zeer gering is ten opzichte van den galvanometerweerstand. (Hoofdstuk I § 6). Bij het neertikken van den sleutel wordt de paralelle tak geopend en gaat de stroom door den galvanometer.

e. De *Rymer Jones sleutel* (fig. 8) functionneert, evenals de batterijsleutel, niet anders dan quadrantencommutator.

De armen r_1 en r_2, draaibaar om de punten p en q, drukken in den ruststand verend op het koperen stuk, waaraan de zinkpool van de batterij geklemd is. Zij buigen zich over het tweede koperen stuk, waaraan de koolpool bevestigd is, heen, zoodat deze in den geteekenden stand geïsoleerd is. De arm r_1 kan door draaiing *tegen*, de arm r_2 kan door draaiing *in* de richting van de wijzers van een uurwerk met de koolpool verbonden worden, de polariteit van a en b dus naar willekeur geregeld. Een voordeel van den sleutel is dat vertrouwbare contacten gemaakt worden tengevolge van de bij elke manipulatie ontstane wrijving tusschen r_1 of r_2 en de koperen stukken.

f. De *Ontladingssleutel*, (fig. 9) is een vereenvoudigde Rymer Jones sleutel. Bij capaciteitsmetingen (Hoofdstuk 5) kan met dezen sleutel worden volstaan; aan punt 1 wordt een batterijpool, aan punt 2 een galvanometerklem bevestigd: de tweede batterijpool en de tweede galvanometerklem worden aan de aarde gelegd. Aan punt 3 komt òf een klem van een condensator waarvan de andere klem aan de aarde ligt, òf de aderkern van den kabel, waarvan het andere einde geïsoleerd is. De Rymer Jones en de batterijsleutel zijn niet minder goed bruikbaar bij deze meting (Hoofdstuk 5). De ontladingssleutel heeft daarom, den lageren prijs buiten beschouwing gelaten, geen bijzondere beteekenis.

§ 2. De Galvanometer met Lamp en Schaal.

Instrumenten als de tangentenboussole en de galvanometer van Thomson, die hunne plaats in de meettechniek der praktijk hebben moeten ruimen voor de zoogenoemde draadraamgalvanometers, behoeven hier niet beschreven te worden. Er worde slechts aan herinnerd dat de stroommeting bij deze instrumenten berust op de afwijking, welke een magneetnaald ondergaat onder den invloed van den te meten stroom, welke in vele windingen om die magneetnaald wordt geleid.

Het bij kabelmetingen algemeen gebruikte technische precisie-instrument berust op de afwijking, welke een aluminium raampje, waarom een dunne draad in vele windingen gewikkeld is, en dat draaibaar tusschen de polen van een permanente magneet is opgehangen, onder de werking van den door die windingen gevoerden stroom verkrijgt. Het beginsel werd aangegeven door Deprez en d'Arsonval; de hier te beschrijven uitvoering van Sullivan te Londen heeft in de praktijk zoo goed voldaan, dat ter wereld wel geen kabelstation van eenige beteekenis, en geen enkel kabelschip zal kunnen worden aangewezen, waar het zich nog geen plaats veroverd heeft.

De galvanometer bestaat uit:

a. *Het Gestel* (fig. 10), gemaakt van hout, koper en eboniet, waarin een permanente magneet m is vastgeklemd, en dat in het midden een vertikale koperen stang k. s. en daarnaast twee koperen leibaantjes k. l. draagt, waarop:

b. *De koperen Galg met draadraam* (fig. 11) geschoven worden kan.

Elk der klemmen van den galvanometer staat in verbinding met een platinaplaatje in den bodem van het gestel. Na het inschuiven van de galg maken deze plaatjes contact met de van elkaar geïsoleerde platinastiften p. s. De stroom, inkomende op een der klemmen, vloeit langs een der platinastiften p. s. door de galg op den fosforbronzen ophangdraad f. o., gaat door de windingen van het aangesol-

deerde draadraam dr., om af te vloeien langs den onderophangdraad en de tweede platinastift.

Vast verbonden aan de galg hangt in de opening van het draadraam een weekijzeren cylindertje w. c. Dit cylindertje concentreert de sterkte van het magneetveld om het draadraam, verhoogt daarmede het effect van de electromagnetische werking.

Vóór dat de galg in het gestel wordt geschoven, spant men den ophangdraad door het voorzichtig aandraaien van den schroefkop met gekartelden rand sch. De lengte van den onderophangdraad wordt geregeld middels de stelschroef st, wier groote spoed bijzondere voorzichtigheid bij het aandraaien noodzakelijk maakt, in verband waarmede men het spannen en ontspannen van den ophangdraad in den regel alleen met de schroef sch bewerkt. Men lette op dat de draad niet te sterk wordt aangehaald, de kans op afknappen is groot. De draad behoeft niet snaarstijf te staan.

Is de galg in het gestel geschoven, dan ga men na of het draadraam vrij slingeren kan, niet aanstoot tegen de polen van den magneet. Deze magneet kan versteld worden na het losdraaien der koperen schroeven waarmede hij is vastgeklemd Ook kan de stand van de galg ten opzichte van de vaste leibaantjes, en dus ten opzichte van den magneet, geregeld worden door het in- of uitdraaien van de beenen pen b.p., welke, al naardat zij meer ter linker of ter rechter zijde van de galg uitsteekt, deze meer ter rechter of ter linker zijde tusschen de leibaantjes plaatst.

Nu wordt de afleesschaal met lamp op een afstand van ongeveer een meter van het aan de bovenzijde van het draadraampje bevestigde galvanometerspiegeltje sp geplaatst en de lichtkegel der lamp op dat spiegeltje gericht. Met een blaadje papier zoekt men het door het spiegeltje teruggekaatste lichtbeeldje (erop lettende dat men het licht der lamp niet onderschept) en brengt dit lichtbeeldje op het midden der schaal door deze hooger of lager te stellen en door het draaien van den, van twee uitstekende knoppen voorzienen, drager d van den ophangdraad, waarbij men erop lette den schroefkop sch in dien drager niet afzonderlijk

te draaien, daar dit het afknappen van den draad tengevolge zou kunnen hebben.

Moet een nieuwe ophangdraad aangesoldeerd worden, dan zet men de galg in de daartoe bestemde middensleuf van het reparatiedoosje. Het draadraam wordt vastgezet doordat men de twee in het raparatiedoosje aan te treffen houten wigjes tusschen het raampje en de platte vlakken van het cylindertje drukt. De nieuwe ophangdraad kan dan aangesoldeerd worden. Gewoonlijk zal alleen de bovendraad afgeknapt zijn; het is dan raadzaam den gaven onderdraad door het terugdraaien van de stelschroef st de noodige speling te geven, voordat het raampje met de houten wigjes wordt vastgezet.

De galvanometer kan ook als spiegelseintoetsel gebruikt worden. Het kwastje kw wordt dan naar voren geschoven, om den ophangdraad heen. De bewegingen van het raampje worden door de wrijving met het kwastje gedempt, het spielgellezen daarmede makkelijker gemaakt.

Sullivan somt o.m. de volgende voordeelen van zijn galvanometer op:

a. *Het instrument wordt niet beinvloed door uitwendige magnetische velden* (het aardveld, of het veld van in de nabijheid liggende magneten van andere instrumenten). Dit voordeel kenmerkt alle galvanometers van het Deprez en d'Arsonval type, door wien ook gebouwd.

b. *De mogelijkheid om den galvanometer te gebruiken als seintoestel zoowel als meettoestel.*

c. *De mogelijkheid om de ophanging van het draadraam van een galvanometer a/b van een kabelschip zoo te regelen, dat de beweging van het raam geen invloed ondervindt van het stampen en slingeren van het schip.* Deze mogelijkheid is inderdaad van groot belang. Eene nadere bespreking zou evenwel niet passen in het kader van deze handleiding.

§ 3 Weerstanden.

Weerstanden worden tegenwoordig algemeen van manganinedraad vervaardigd, een legeering van 86% koper, 12% mangaan en 2% nikkel. De weerstand van manganine verandert nagenoeg niet met de temperatuur; correcties van meetresultaten wegens temperatuursverschillen behoeven bij

het gebruik van manganinedraad dan ook niet in toepassing te worden gebracht. De weerstandsklossen der banken van den P. & T. dienst zijn gewikkeld van één tot 10 duizend ohm. De draadeinden der klossen worden gesoldeerd aan koperen stukken a, b, en c (fig. 12), die door het insteken van een stop d met elkaar in contact kunnen worden gebracht, zoodat de tusschenstaande klos dan kort gesloten is. Een aldus gevormde serie van weerstandsklossen heet *weerstandsbank*. De meeste Engelsche banken hebben klossen resp. van 1—2—2—5—10—20—20—50—100—200—200—500—1000—2000—2000—en 5000 ohm, de Duitsche banken van 1—2—2—5—10—10—20—50—100—100—200—500—1000—1000—2000—en 5000 ohm.

De Wheatestonebrug is een weerstandsbank met drie achter elkaar verbonden serien van klossen, wordt in Hoofdstuk 4 nader omschreven.

§ 4. De vergelijkings-weerstand.

Deze is een weerstandsbank met hooge weerstanden van 10.000 tot 100.000 ohm.

§ 5. De shunt.

Onder een shunt of nevensluiting verstaat men een weerstandsbank, die parallel met een galvanometer wordt verbonden, ten einde den galvanometer, indien het lichtbeeld tot buiten de schaal mocht worden verplaatst, gedeeltelijk van den te meten stroom te ontlasten. (fig. 13) De beschouwing van § 6, Hoofdstuk 1, levert het verband tusschen de sterkte i_g van den stroom, welke de veplaatsing van het lichtbeeld veroorzaakt, en den eigenlijk te meten stroom I.

Noem den weerstand van den galvanometer g, den schuntweerstand s, dan is:

$i_g = \frac{s}{s+g} . I$ dus: $I = \frac{s+g}{s} . i_g$, zoodat de afwijking van het lichtbeeld vermenigvuldigd moet worden met het getal $\frac{s+g}{s}$, om de afwijking te krijgen, welke de stroom

I aan het lichtbeeld van den *niet*-geshunten galvanometer zou willen geven. Dit getal $\frac{s+g}{s}$ noemt men de „shunt-coëfficient." Maakt men s achtereenvolgens gelijk aan $\frac{1}{999}$, $\frac{1}{99}$, en $\frac{1}{9}$ van g, dan zal de shuntcoëfficient resp. de waarden 1000, 100 en 10 verkrijgen.

§ 6. De universaalshunt.

De universaalshunt bestaat uit een weerstand van een onveranderlijk bedrag (b.v. 10.000 ohm), parallel op den galvanometer geschakeld. (fig. 14). De te meten stroom I splitst zich bij a in galvonometer- en shuntstroom, resp. i_g en i_s, welke stroomen in een naar willekeur te kiezen punt b van de shunt weer samenkomen.

Noem den totalen weerstand van de shunt: R
den galvanometerweerstand : g
den shuntweerstand van a tot b : s
zoodat de weerstand van b tot c (R-s) bedraagt, dan is (fig. 15) : $i_g = \frac{s}{g+(R-s)+s} . I = \frac{s}{g+R} . I$, alinea g en R zijn beide onveranderlijke weerstanden, de som (g+R) is bijgevolg ook onveranderlijk, zoodat, wanneer de s-waarde gedurende stroomdoorgang twee maal grooter wordt gemaakt, de i_g-waarde ook twee maal grooter worden zal. Bij het gebruik van de universaalshunt zijn de galvanometerafwijkingen bijgevolg evenredig met de shuntwaarden s.

Het getal $\frac{g+R}{s}$ is de eigenlijke shuntcoëfficient. Gemakshalve stelt men hiervoor de waarde $\frac{R}{S}$ in de plaats — begaat daarmede, zooals blijken zal, slechts oogenschijnlijk eene onnauwkeurigheid.

Stel b.v. dat de verhouding van een onbekenden tot een bekenden weerstand bepaald moet worden door middel van vergelijking der stroomsterkten, welke zekere batterij roor door die beide weerstanden jaagt. Dan zij...

	m/d bekenden	m/d onbekenden
	weerstand in stroomkring	
de shunt	s	s_1
de afwijking	d	d_1
de shuntcoëfficient	$\frac{g+R}{s}$	$\frac{g+R}{s_1}$

zoodat de beide stroomen tot elkaar staan als:

$$d\,\frac{g+R}{s} : d_1\,\frac{g+R}{s_1} \text{ of als } \frac{d}{s} : \frac{d_1}{s_1}.$$

In deze verhouding zijn de getallen $(g+R)$ tegen elkaar weggevallen. Worden de tellers $(g+R)$ nu bij benadering door R vervangen, dan vallen deze R-waarden evengoed tegen elkaar weg, zoodat de einduitkomst hetzelfde blijft. Bedraagt R b. v. 10000, s 10 ohm, dan spreekt men van een shunt van 10 op 10000, of van een shuntcoëfficient gelijk 1000, terwijl deze in werkelijkheid meer dan 1000 bedraagt.

Daar de waarde van g, evenals die van R uit de verhouding der stroomsterkten wegvalt, kan een universaalshunt gebruikt worden bij elken galvanometer, wat diens weerstand ook zijn moge.

Wordt s gelijk gemaakt aan R, dan is de coëfficient van de universaalshunt gelijk aan 1. De galvanometer heeft bij dezen shuntstand de grootst mogelijke afwijking.

Die afwijking zou nog wel grooter gemaakt kunnen worden door de universaalshunt van den galvanometer los te nemen, doch dan zou de hierboven ontwikkelde theorie niet meer opgaan, daar het bedrag van den weerstand R wèl op de afwijking *d*, doch *niet* op de afwijking d_1 van invloed zou zijn en de eenvoudige verhouding $\frac{d}{s} : \frac{d_1}{s_1}$ bijgevolg niet meer geldig zou zijn.

De R-waarde van de universaalshunt van Sullivan, (zooals deze geleverd wordt bij den besproken galvanometer) bedraagt 10.000 ohm. De s-waarden kunnen resp. op 10000—1000—100—10 en 1 ohm ingesteld worden. De overgang van een shuntstand op een volgenden geeft dikwijls een al te groot verschil in galvanometerafwijking, b.v.

van slechts 40 schaaldeelen tot geheel buiten de schaal. Men kan de afwijking met kleiner verschillen regelen door gebruik te maken van een als universaalshunt te schakelen weerstandsbank of van een regeltak van de Wheatstone brug. (Hoofdstuk 4.)

Hiertoe wordt die bank (fig 16) parallel op den galvanometer gezet, en worden alle stoppen getrokken, zoodat de R-waarde 11110 of 10.000 ohm bedraagt. Dit bedrag doet overigens niets ter zake. De stroom I wordt geleid naar die klemschroef der bank, waarnaast de lage weerstanden gelegen zijn (punt a), terwijl die stroom wordt afgevoerd door een draad, welke geklemd wordt in de bij de bank of brug behoorende losse contactstop met klemschroef (wandelstop), welke gestoken wordt in een der gaten (in fig. 16 punt b) in het midden der koperen contactstukken, waaraan de uiteinden der weerstands-draden gesoldeerd zijn.

Hoe verder de wandelstop van punt *a* gelegen is, hoe grooter de galvanometer- afwijking wordt. De coëfficient van de hier gebruikte universaalshunt is natuurlijk gelijk aan het quotient van het bedrag van den totaal getrokken weerstand en het bedrag van den weerstand, gelegen tusschen de punten a en b.

Men lette er op de wandelstop niet *tusschen* twee dier koperen stukken te steken, daar de R-waarde dan veranderen zou.

§ 7. De meet-condensator.

De bij den P. & T. dienst in gebruik zijnde meet-condensatoren komen meerendeels uit de fabriek van Muirhead & Co. te Londen, bestaan uit bladen bladtin, die van elkaar zijn geisoleerd door geparaffineerde of met schellak bestreken micaplaten, verpakt in een cylindrische doos van koper, waarop een ebonieten deksel. De capaciteit bedraagt 1/3 microfarad.

$\frac{r_1}{v_1} = \frac{r_2}{v_2}$ of $\frac{r_1}{v_1} - 1 = \frac{r_2}{v_2} - 1$ of $\frac{r_1 - v_1}{v_1} = \frac{r_2 - v_2}{v_2}$ en indien $r_1 - v_1 = x$ en $r_2 - v_2 = R$ gesteld wordt: $\frac{x}{v_1} = \frac{R}{v_2}$

of $x = \frac{v_1}{v_2} . R$. (fig. 18).

Het meten van eenigen onbekenden weerstand x komt dus neer op het bepalen van v_1, v_2, en R, zoodanig dat de galvanometer niet uitslaat wanneer middels een batterijsleutel spanning wordt gezet op de punten a en b.

§ 2. De constructie van de brug.

In de meetbruggen der practijk worden nu de weerstanden v_1, v_2, en R achter elkaar gezet en wordt de onbekende weerstand x aan de uiteinden c en b verbonden. (fig. 19). De takken v_1 en v_2 kunnen beide gestopt worden op 10 of 100 of 1000, soms op 10000 ohm, de verhouding $\frac{v_1}{v_2}$ kan bijgevolg desverlangd $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{1}$, $\frac{10}{1}$, $\frac{100}{1}$, en $\frac{1000}{1}$ bedragen. Daar R geregeld kan worden van 1 tot bijv. 10.000 ohm, strekt het meetbereik der brug zich uit van 0.001 tot 10.000.000 ohm.

Bij het meten van den geleidings (koper) weerstand van een kabel, wordt deze aan punt c der brug gelegd, het andere einde van den kabel, in het overliggende kabelhuis, aan de aarde. Ook punt b der brug wordt met de aarde verbonden. De ervaring leerde dat de aarde, opgenomen in den te meten weerstand, dezen niet schijnbaar vergroot. Wel moet er voor worden gezorgd dat de aardcontacten heel goed zijn, daar de *overgangen* op de aarde soms een hoogen weerstand hebben; het is daarom gewenscht de beschermingsdraden van den kabel, die over een groote oppervlakte in goede geleiding met het zeewater staan, als aardverbinding te benuttigen. Hiertoe worden alle beschermingsdraden van den kabel straalsgewijs omgebogen, onderling middels een koperdraad en ten overvloede met het messingband tot één verbinding *gesoldeerd*.

Een goede aardverbinding heeft niet meer dan een halve ohm overgangsweerstand.

Hoewel er geen bezwaar bestaat tegen het verwisselen der verbindingspunten van kabel en aarde aan de brug, is het toch raadzaam altijd met eenzelfde draadschema te werken. Daarom behooren kabel en aarde steeds als in de figuur aangelegd te worden, zonder dat aan dit bepaalde verbinden meer beteekenis moet worden gehecht dan het gemak dat een vaste manier van doen oplevert.

Met den batterijsleutel kan naar verkiezing de zink- of de koolpool op de brug tusschen de verhoudingstakken v_1 en v_2 (op den *kabel*) gezet worden. De andere pool wordt dan met punt b—dat is *met de aarde*— verbonden. Bij gewone metingen, doch vooral bij de later volgende foutbepalingen, verdient het aanbeveling batterij en brug zoodanig aan den batterijsleutel te verbinden, dat bij het neerdrukken van de *linker* strook van dien sleutel altijd de *zinkpool* op den kabel, en de koolpool op de aarde wordt gezet.

De galvanometer is behalve met de uiteinden van v_1 en v_2, ook met de knoppen van een kortsluitingssleutel verbonden, en met een weerstandsbank, die, als nevensluiting of shunt op den galvanometer, dezen vrijwaart van te zware stroomen, wanneer de weerstand R nog belangrijk verschilt met de waarde, bij welke het Wheatstone's evenwicht zal zijn bereikt. Hoe meer dit evenwicht door verandering van R benaderd wordt, hoe grooter de shuntweerstand kan worden gestopt, waardoor de galvanometer gevoeliger wordt.

§ 3. De verplaatste nulstand.

In Hoofstuk 1 § 3 werd gezegd dat men den electrischen druk der aarde de waarde nul toekent. Deze bepaling behoort te worden aangevuld met de vermelding van het feit dat tengevolge van grootendeels onbekende oorzaken op verschillende punten der aarde ongelijke electrische drukken heerschen. Zoo kunnen tusschen de beide aardverbindingen in de twee kabelhutten drukverschillen optreden, die een stroom door den kabel trachten te jagen.

Uit de figuur blijkt dat een deel van den uit den kabel komenden stroom door den galvanometer, een ander deel

door de takken v_1 en v_2 zal vloeien. De geheele aardstroom gaat door den regeltak R van de brug, over de aardverbinding, naar de aarde terug.

Men kan den aardstroom waarnemen door het neerdrukken (openen) van den kortsluitingssleutel, erop lettende dat de meetbatterij geen stroom geeft door het brugcomplex. Het gedeelte van den aardstroom dat door den galvanometer gaat, verplaatst het lichtbeeld uit den nulstand van de schaal. Die verplaatsing kan door verandering van den galvanometershunt worden geregeld. Het dan door het lichtbeeld ingenomen punt der schaal heet „verplaatst nulpunt", het punt dat bij de nu volgende meting als eigenlijk nulpunt van het lichtbeeld moet worden beschouwd.

Wordt de meetbatterij vervolgens gesloten, en wijkt het lichtbeeld dientengevolge af, doch brengt men het door verandering van den regeltak naar den verplaatsten nulstand terug, dan voegt zich bij den aardstroom in den galvanometertak blijkbaar geen batterijstroom, zoodat voldaan moet zijn aan de vergelijking: $v_1 : v_2 = x : R$.

Ter uitvoering der meting worden deze manipulatien eenige malen herhaald, dus:

1. Neerdrukken (openen) van den kortsluitingssleutel, en het aflezen van den verplaatsten nulstand, zoo noodig onder verandering van de shunt.

2. Het op laten komen van den kortsluitingssleutel ten einde den galvanometer te vrijwaren van den ladingsstroom die in den kabel vloeit bij het:

3. Spanning zetten op de brug middels den batterijsleutel.

4. Het neerdrukken van den kortsluitingssleutel en het veranderen van den regeltak R, totdat het lichtbeeld nagenoeg den onder 1 waargenomen verplaatsten nulstand weder inneemt.

5. Het op laten komen van den kortsluitingssleutel om den galvanometer te vrijwaren van den ontladingsstroom, die uit den kabel vloeit bij het:

6. Afzetten van de

tak grooter of kleiner gemaakt moet worden bij afwijking van het lichtbeeld ter eene of ter andere zijde, levert het gemak op den galvanometer altijd zoo te schakelen, dat eene afwijking van het lichtbeeldje naar *links* gevolgd moet worden door eene *vermindering*, eene afwijking naar *rechts* door eene *vermeerdering* van den regeltak, een gebruik dat in het engelsch gemakkelijk gememoreerd wordt: „to the left-less." Wordt van den regeltak de stop „oneindig groot" getrokken, dan moet het lichtbeeld met b. v. den zinkstroom op den kabel, daar de geleidingsweerstand in ieder geval kleiner is dan oneindig groot, bij manipulatie 4 naar *links* afwijken. Worden alle stoppen in den regeltak gezet, dus R=nul gemaakt, dan moet het lichtbeeld naar rechts afwijken, daar de koperweerstand in ieder geval grooter is dan nul.

Bij het meten met den koolstroom op den kabel zal het lichtbeeld niet langer overeenkomstig het regeltje afwijken. Mitsdien is het gemakkelijk, hoewel niet noodzakelijk, om een afzonderlijken sleutel ter commuteering van den stroom in den galvanometertak op te nemen.

Treedt een sterke aardstroom op, dan moet de galvanometershunt laag gehouden worden wil de verplaatste nulstand niet buiten de schaal vallen. Maar met dezen lagen shuntweerstand wordt de galvanometer minder gevoelig voor variaties in den regeltak, en kan het voorkomen dat x niet met de gewenschte nauwkeurigheid, tot op één ohm, kan worden bepaald. In dat geval draait men den drager van den ophangdraad totdat de verplaatste nulstand binnen de schaal valt. Bij het gebruik van een universaalshunt, stand 1: 100, behoudt een Sullivan galvanometer voldoende gevoeligheid. Na eenige oefening zal men in sommige gevallen met een shuntstand 1 : 1000 nog voldoende nauwkeurig kunnen meten. De ervaring alleen kan hier den wegwijzen.

Wanneer de koperweerstand met de zinkpool nauwkeurig is bepaald, wordt de meting met de koolpool herhaald. In normale gevallen leveren beide metingen eenzelfde resultaat. Abnormale gevallen komen bij de foutbepalingen ter sprake.

§ 4. Meting middels snelle poolwisselingen.

Het komt voor, en bijzonder op Oost-West loopende kabels, dat de aardstroom onderhevig is aan snelle variaties, dat het lichtbeeld gedurende manipulatie 1 heen en weer slingert en geen oogenblik tot rust komt, zoodat van *één bepaalden verplaatsten nulstand* geen sprake is.

De geleidingsweerstand van den kabel wordt dan bepaald door het gemiddelde te nemen van een tiental metingen, waarbij de zink- en de koolpool van de meetbatterij afwisselend op den kabel worden gezet, terwijl het lichtbeeld door verandering van den regeltak R naar het midden van de schaal wordt teruggebracht.

Tot goed begrip van deze methode stelle men zich voor dat de verplaatste nulstand ter linker zijde van het midden der schaal gelegen is, en dat *vermeerdering van den regeltak R* eene verplaatsing van het lichtbeeld naar *rechts* tengevolge heeft. Stond het lichtbeeld bij gesloten meetbatterij juist in den verplaatsten nulstand, dan zou de regeltak gelijk zijn aan den gevraagden geleidingsweerstand van den kabel. Thans wordt echter van den regeltak die waarde gezocht, waarbij het lichtbeeld naar het midden der schaal (ter rechter zijde van den verplaatsten nulstand) terugkeert, welke waarde van den regeltak bijgevolg grooter dan de gevraagde geleidingsweerstand zal zijn.

Bij de hierop volgende meting met de koolpool op den kabel zal *vermindering van den regeltak* eene verplaatsing van het lichtbeeld naar *rechts* tengevolge hebben, zoodat de met de koolpool gevonden waarde van den regeltak waarbij het lichtbeeld naar het midden der schaal terugkeert kleiner dan de geleidingsweerstand van den kabel zal zijn.

Veranderde de verplaatste nulstand gedurende beide metingen niet, dan zou het eerste resultaat den geleidingsweerstand van den kabel evenveel overtreffen als het tweede resultaat daaronder blijven, en het gemiddelde (de halve som van beide uitkomsten), gelijk aan den geleidingsweerstand van den kabel zijn. Daar echter uitgegaan is

onderstelling dat de verplaatste nulstand aan variaties onderhevig is, zal het resultaat der eerste meting den geleidingsweerstand meer of minder overtreffen dan het resultaat der tweede meting daaronder blijven, zoodat het gemiddelde grooter of kleiner zal zijn dan de gevraagde geleidingsweerstand.

Om deze onnauwkeurigheid zoo klein mogelijk te maken, herhaalt men de beide metingen eenige, gewoonlijk vijf malen. Uit de resultaten der vijf metingen met de zinkpool en tevens uit die der vijf metingen met de koolpool wordt het gemiddelde bepaald, en uit deze beide gemiddelden het eindgemiddelde berekend. Dit eindgemiddelde stelt ten naastebij den gevraagden geleidingsweerstand voor.

Het is gewenscht de poolwisselingen zoo snel mogelijk op elkaar te doen volgen, daar de variaties van den aardstroom dan binnen minder wijde grenzen beperkt blijven, en de uitkomsten der tien metingen zich bijgevolg enger om haar gemiddelde zullen groepeeren.

§ 5. Het bepalen van de som der aardovergangsweerstanden in de kabelhut en op het kantoor, in het geval dat twee kabels hut en kantoor verbinden.

Worden de hier bedoelde kabels op het kantoor aan elkaar verbonden, en samen aan de aarde gelegd (fig. 20), dan kan de geleidingsweerstand van elken kabel gemeten worden, door achtereenvolgens elk der beide kabels op de bovenomschreven manier met de brug te verbinden, waarbij de niet te meten kabel als een overbodig, doch geenszins storend aanhangsel, aan den te meten kabel hangt.

Door het losmaken van de aardverbinding aan de brug, en het vastklemmen van den tweeden kabel aan het vrijgekomen brugeinde, kan vervolgens de som der beide koperweerstanden bepaald worden, zonder dat de overgangsweerstanden in de hut en op het kantoor in den onbekenden tak van de Wheatstonebrug opgenomen zijn. De aardverbinding op het kantoor veroorzaakt geen storing in de meting, daar de meettoestellen in de hut van de aarde geïsoleerd zijn.

onderstelling dat de verplaatste nulstand aan variaties onderhevig is, zal het resultaat der eerste meting den geleidingsweerstand meer of minder overtreffen dan het resultaat der tweede meting daaronder blijven, zoodat het gemiddelde grooter of kleiner zal zijn dan de gevraagde geleidingsweerstand.

Om deze onnauwkeurigheid zoo klein mogelijk te maken, herhaalt men de beide metingen eenige, gewoonlijk vijf malen. Uit de resultaten der vijf metingen met de zinkpool en tevens uit die der vijf metingen met de koolpool wordt het gemiddelde bepaald, en uit deze beide gemiddelden het eindgemiddelde berekend. Dit eindgemiddelde stelt ten naastebij den gevraagden geleidingsweerstand voor.

Het is gewenscht de poolwisselingen zoo snel mogelijk op elkaar te doen volgen, daar de variaties van den aardstroom dan binnen minder wijde grenzen beperkt blijven, en de uitkomsten der tien metingen zich bijgevolg enger om haar gemiddelde zullen groepeeren.

§ 5. Het bepalen van de som der aardovergangsweerstanden in de kabelhut en op het kantoor, in het geval dat twee kabels hut en kantoor verbinden.

Worden de hier bedoelde kabels op het kantoor aan elkaar verbonden, en samen aan de aarde gelegd (fig. 20), dan kan de geleidingsweerstand van elken kabel gemeten worden, door achtereenvolgens elk der beide kabels op de bovenomschreven manier met de brug te verbinden, waarbij de niet te meten kabel als een overbodig, doch geenszins storend aanhangsel, aan den te meten kabel hangt.

Door het losmaken van de aardverbinding aan de brug, en het vastklemmen van den tweeden kabel aan het vrijgekomen brugeinde, kan vervolgens de som der beide koperweerstanden bepaald worden, zonder dat de overgangsweerstanden in de hut en op het kantoor in den onbekenden tak van de Wheatstonebrug opgenomen zijn. De aardverbinding op het kantoor veroorzaakt geen storing in de meting, daar de meettoestellen in de hut van de aarde geïsoleerd zijn.

Ter toelichting volgt het hieronder uitgewerkte voorbeeld:

Kantoor Sitoebondo.

Meting op 14 Maart 1909.

Aantal elementen 10.

Verhouding der brug 100 : 1000.

Aders (in de pijplijn) Sgr 1 en Bjm. 1.

Sgr_1 + 2 aardweerstanden	=	62.5 ohm.
Bjm_1 + 2 „	=	61.2 „
Sgr_1 + Bjm_1 + 2 maal 2 aardw.	=	123.7 „
Sgr_1 + Bjm_1	=	123.0 „
2 maal 2 aardw.	=	0.7 „
2 aardw.	=	0.35 „

bijgevolg:

Sgr_1 = 62.5 — 0.35 = 62.15 ohm.

Bjm_1 = 61.2 — 0.35 = 60.85 „ .

HOOFDSTUK 5.

HET BEPALEN VAN DEN ISOLATIEWEERSTAND EN DE CAPACITEIT VAN EEN KABEL.

§ 1. De isolatieweerstand.

Fig. 21 stelle een kabel voor welke met tusschenschakeling van een galvanometer aan een der polen van een batterij van 20 of 25 elementen verbonden is. De andere pool zij aan de aarde gelegd; het andere kabeleinde geïsoleerd.

De koperkern van den kabel staat over de geheele lengte onder den electrischen druk *e* van de batterij. Buiten het gutta-percha omhulsel heerscht de electrische druk van de aarde, en door dat omhulsel wordt bijgevolg een stroom (den zoogenoemden „isolatiestroom") gejaagd, welke gelijk is aan het quotient van batterijspanning en den weerstand van het omhulsel, welke weerstand kortweg *isolatieweerstand* wordt genoemd.

De doorgang, welke den electrischen stroom geboden wordt, neemt evenredig met de kabellengte toe. De isolatieweerstand per mijl is bijgevolg gelijk aan den totalen isolatieweerstand vermenigvuldigd met de kabellengte in mijlen.

In verband met de wet van Ohm levert de sterkte van den isolatiestroom, bij een gegeven batterijsterkte, een maat voor den isolatieweerstand. Ter berekening van den isolatieweerstand wordt deze stroomsterkte echter niet direct uit de galvanometerafwijking afgeleid en in ampères uitgedrukt, maar men vergelijkt deze afwijking met de galvanometerafwijking wanneer in den keten: batterij-galvanometer-isolatieweerstand, deze laatste door een bekenden weerstand

wordt vervangen. Die beide afwijkingen verhouden zich omgekeerd als de bijbehoorende weerstanden, zoodat de isolatieweerstand berekend kan worden als de vierde evenredige tot twee schaalaflezingen en den gebezigden vergelijkingsweerstand. De schaalaflezing met den vergelijkingsweerstand in den keten wordt gewoonlijk omgerekend tot de aflezing van den niet geshunten galvanometer met een megohm (10^6 ohm) in stroomloop. Deze aflezing heet de „Constante."

Onder de constante van een galvanometer bij een zekere batterijsterkte, verstaat men de afwijking, welke het lichtbeeld van den niet geshunten galvanometer zou verkrijgen tengevolge van den stroom, welke door die batterijsterkte wordt opgewekt in den met den vergelijkingsweerstand van 10^6 ohm in serie geschakelden galvanometer

De weerstand van den galvanometer maakt den totalen weerstand van den keten altijd grooter dan het bedrag van den vergelijkingsweerstand bedraagt. Het zelfde doet de inwendige weerstand van de batterij. Doch de hier bedoelde weerstandsvermeerdering is, vergeleken bij den vergelijkingsweerstand, zoo gering, dat zij ten opzichte van dezen verwaarloosd worden mag, daar de vergelijkingsweerstand niet minder dan 100.000 Ohm bedraagt.

Het bepalen van de Constante moet bij elke opstelling der instrumenten worden herhaald, omdat mogelijke veranderingen van de batterijsterkte en van den afstand van schaal tot spiegel verandering van de Constante tengevolge zou hebben.

Fig. 22 geeft een volledig schema der draadverbindingen voor het bepalen der Constante. Deze bepaling vereischt wel geen nadere toelichting.

Bij een normaalweerstand van 0.1 megohm, een shuntcoëfficient van bijv. 100, en een schaalaflezing van 160, bedraagt de Constante $160 . 0,1 . 100 = 1600$. Een afwijking van 1600 schaaldeelen komt in werkelijkheid niet voor. Volgens de hoogergenoemde definitie van de Constante heeft dit getal dus slechts eene denkbeeldige beteekenis,

waarom door velen de voorkeur wordt gegeven aan deze definitie:

Onder de Constante van een galvanometer bij een zekere batterijsterkte verstaat men het aantal megohm dat met den galvanometer en de batterijsterkte in serie moet worden gezet, opdat de opgewekte stroom het galvanometerlichtbeeld één schaaldeel doe afwijken.

Ter uitvoering der eigenlijke isolatiemeting wordt de vergelijkingsweerstand losgenomen van de universaalshunt en van de aardklem van den sleutel en de kabel vervolgens aan de vrij gekomen klem van de universaalshunt verbonden.

Doet bij het bepalen van den isolatieweerstand de isolatiestroom het lichtbeeld nu bijv. 80 schaaldeelen afwijken, dan bedraagt de isolatieweerstand van den gemeten kabel blijkbaar 20 maal het bedrag van den denkbeeldigen vergelijkingsweerstand van één megohm.

Zoo eenvoudig als hier beschreven verloopt de isolatiemeting echter niet. De afwijking van het lichtbeeld neemt af wanneer men den isolatiestroom eenigen tijd door laat gaan, het is dan alsof de isolatieweerstand tengevolge van den stroomdoorgang toeneemt. Van een bepaalden isolatieweerstand van den kabel is dus geen sprake, bij de opgave moet vermeld worden na hoe langen stroomdoorgang de betreffende galvanometeraflezing is geschied. Naar Engelsch gebruik wordt voor dien tijd vrij algemeen een minuut aangenomen *).

Ter nadere omschrijving van den aard van het verschijnsel diene de volgende analogie:

Voor batterij en geisoleerden kabel denke men zich een watertoren in verbinding met een gesloten buis, waarvan de wand uit een sponsachtige massa bestaat. Wordt het water uit den toren tot de buis toegelaten, dan zal het zich daar in storten (lading van den kabel), vervolgens zal de wand het water absorbeeren, doch in kleinere hoeveelheden naarmate die wand met de vloeistof verzadigd raakt.

*) In het contract der levering van den Pontianak-Saigonkabel indertijd gesloten tusschen de Fransche regeering en de firma A. Grammont, werd die tijd op twee minuten gesteld.

De wateraanvoer uit den toren neemt bijgevolg van minuut tot minuut af en zal een minimum bereiken op het oogenblik van volledige verzadiging, wanneer alleen het door den wand lekkende water geleverd behoeft te worden. Bij een gezonden kabel verloopt die absorbtie regelmatig, d. w. z. dat de verschillen der van minuut tot minuut genoteerde schaalaflezingen regelmatig afnemen. Een onregelmatig verloop der absorbtie wijst op een zwak punt in de isolatie, op een slechte lasch of op een zich ontwikkelende fout. Bij de periodieke metingen der kabels wordt de absorbtie waargenomen door de afwijking tengevolge van den isolatiestroom van minuut tot minuut, eerst gedurende 5 minuten met de Zink- en vervolgens gedurende 5 minuten met de Koolpool op den kabel, af te lezen.

Wordt de spanning door middel van den batterijsleutel van den kabel afgenomen, dan vloeit de lading naar de aarde af. Het lichtbeeld wijkt dan naar den anderen kant van den nulstand af. Het is alsof de geabsorbeerde electriciteit met afnemende stroomsterkte terugvloeit, want het lichtbeeld keert langzaam naar den nulstand terug, om daar te blijven staan wanneer de kabel in den ontladen toestand is teruggekeerd. Eerst dan mag de isolatiemeting met de koolpool op den kabel worden verricht omdat anders de afwijking van den terugvloeienden absorbtiestroom zich voegen zou bij de afwijking van den positieven isolatiestroom, en bijgevolg een onjuist beeld van den isolatieweerstand zou worden verkregen.

Eene opsomming van de met de sleutels uit te voeren manipulatiën blijve hier achterwege. Er worde slechts aan herinnerd dat de batterij niet dan met gesloten kortsluitingssleutel op den kabel gezet, en daaraf genomen mag worden. Alvorens stroom te geven opene men den kortsluitingssleutel een oogenblik. Blijft het lichtbeeld in rust dan is het andere kabelend behoorlijk geisoleerd. Wijkt het af, dan ligt dat eind aan de aarde, vertoont de kabel een isolatiegebrek of hapert er iets aan de opstelling der instrumenten. In het laatste geval zal de galvanometer ook bij onverbonden kabel uitslaan; men ga dan de toestelverbindingen

na, vermijde in het algemeen draadcontacten welke tot stroomovergang aanleiding zouden kunnen geven, en make in verband hiermede de verbindingsdraden niet langer dan noodig is.

§ 2. Stroomverlies.

Wordt de te meten kabel door een langen toeleidingsdraad met de instrumenten verbonden, dan zal ook de isolatiestroom van dien draad door den galvanometer gaan en de afwijking bijgevolg grooter zijn dan met den eigenlijken isolatieweerstand overeenkomt. Om dien storenden invloed van den toeleidingsdraad te ontgaan wordt eerst diens eigen isolatiestroom bepaald. Geeft deze het lichtbeeld eene afwijking van bijv. 3 schaaldeelen, dan trekt men van alle gedurende de isolatiemeting genoteerde aflezingen 3 af.

Doch ook op de instrumententafel zelf kunnen isolatieverliezen voorkomen. Bij vochtig weer kruipen langs de oppervlakken soms lekstroompjes (fig. 23) die met den isolatiestroom niets te maken hebben, maar wel, voor zoover zij door den galvanometer gaan, de afwijkingen met een onbekend bedrag doen toenemen. De stroompjes, 1, 2 en 3, die tusschen batterijsleutel en galvanometer weglekken hebben geen storenden invloed, zij bereiken den galvanometer niet.

Maar de stroompjes, 4 en 5 die achter den galvanometer weglekken, worden ook dóór den galvanometer aangevoerd, tengevolge waarvan de isolatiestroom schijnbaar toe, de isolatieweerstand schijnbaar afneemt. Ter controle der zoogenoemde „tafelisolatie" zette men spanning op het instrumentencomplex na den verbindingsdraad van den vergelijkings-weerstand met den batterijsleutel te hebben losgenomen, en ga na of het lichtbeeld merkbaar uitwijkt. Is de tafelisolatie slecht, dan trachte men deze te verbeteren door de instrumenten op schoon gekrapte stukken paraffine te zetten. Vier kleine stukjes onder de hoeken van eenig instrument zullen beter voldoen dan één groot stuk, omdat het oppervlak, waarlangs de lekstroompjes weg kunnen kruipen zoo klein mogelijk moet worden gehouden. Van tijd tot tijd wordt

de paraffine met de spiritusvlam aangeblazen, ten einde eventueel daarop neergeslagen vocht te doen verdampen. Ook late men de spiritusvlam even om de einden der gutta-aders spelen, en strijke deze met paraffine aan. Het verwarmen der aders met een lucifers vlam heeft averechtsch resultaat, daar de vaste deeltjes uit die vlam neerslaan en daarmede het guttaoppervlak beter geleidend maken.

Een uitstekend middel om het nadeelig effect eener slechte tafelisolatie weg te nemen gaf Price in den naar hem genoemden „guard-wire." Deze guard wire of lekdraad verhindert den stroomovergang niet, doch voert den lekstroom juist aan, *buiten den galvanometer om*, zoodat deze alléén den eigenlijken isolatiestroom aanwijst. In fig. 24 is de lekdraad, een dun en blank koperdraadje, aan den lijnknop van den batterijsleutel bevestigd. En overal waar een storende lekstroom over een oppervlak weg zou kunnen kruipen, wordt dit draadje om dat oppervlak geslagen, dat is dus voornamelijk om den normaalweerstand en om den ader van den te meten kabel, en vervolgens afgeknipt. In al zijn eenvoud kan de lekdraad van Price een ieder, die in het vochtig tropisch klimaat een nauwkeurige isolatiemeting moet uitvoeren, uit groote verlegenheden helpen. Men zij echter voorzichtig; licht veroorzaakt het dunne draadje een ongewenscht contact, dat het remedie erger maakt dan de kwaal.

§ 3. Voorbeeld van een uitgewerkt model L 9.

Kantoor te PALEMBANG.

PROCES-VERBAAL VAN KABELMETING.

Op heden den 17en Mei 1908.

Kabel van Palembang naar Muntok (Tandjong Kalean).

Lengte van den kabel $L = 78.85$ Zeemijl.

1. Bepalingen van den GELEIDINGSWEERSTAND in Ohms B. A.

Aantal elementen 10. Verhouding der brug $\frac{100}{1000}$

Weerstand in Ohms B. A.			Gemiddelde weerstand	
Zinkpool	Koperpool	Verplaatst nulpunt	v/d kabel	per mijl
aan den kabel				
1. 7357	2. 7309			
3. 7359	4. 7306			
5. 7356	6. 7313		733.4	9,3
7. 7357	8. 7321			
9. 7343	10. 7325			
gem. 735.3 &	731. 5			

2. Bepaling van den **ISOLATIEWEERSTAND** in Megohms.

Aantal elementen = 30. *)
Standaardweerstand R = 0.01 Megohms.
Shunt van den galvanometer gebezigd bij den standaardweerstand = 0,001.
Idem bij den kabel = 1.
Shuntcoefficient bij den standaardweerstand = 1000.
Idem bij den kabel = 1
Afwijking van den galvanometer door den standaardweerstand D = 340.
Constante van den galvanometer C = 3400.

Zink o/d kabel	Isolatieweerstand tot.	Isolatieweerstand per mijl	Kool o/d kabel	Isolatieweerstand tot.	Isolatieweerstand per mijl
1. 272	12,5	986	1. 275	12,4	975
2. 210			2. 215		
3. 183			3. 188		
4. 169			4. 170		
5. 159	21,4	1686	5. 155	21,9	1729
6. 152			6. 143		
7. 146			7. 136		
8. 142			8. 174		
9. 139			9. 121		
10. 136**)	25	1971	10. 117	29	2291

*) 20 is voldoende.
**) 5 minuten is voldoende.

§ 4. **Temperatuurscorrectie op de uitkomst der isolatiemeting.**

De *electrische weerstand van een koperdraad neemt* bij een temperatuursverhooging van een graad Fahrenheit met 22 tienduizendsten *toe*.

Men noemt den koperweerstand van een kabel bij 75 graad Fahrenheit de kopernormaalwaarde Rn van dien kabel, en bijgevolg is de weerstand bij een temperatuur van 75+t graden: $R_{75}+t=Rn(1+0{,}0022t)$ en bij een temperatuur van 75—t graden:

$$R_{75}-t=Rn(1-0{,}0022t)$$

Deze formules hebben den vorm van de algebraïsche uitdrukking voor de lineaire uitzetting van metalen tengevolge van temperatuursverandering.

Met behulp van deze formules kan de koperweerstand bij eenige temperatuur uit de normaalwaarde berekend worden. Doch omgekeerd kan de temperatuur berekend worden, wanneer de weerstand bij die temperatuur en tevens de normaalwaarde bekend is.

Van elken kabel kent men de normaalwaarde uit metingen tijdens de fabricage verricht. Deze normaalwaarde, gedeeld in de uitkomst eener kopermeting van den in zee gelegden kabel, levert het quotient $(1 \pm 0{,}0022t)$, waaruit t, dus ook de temperatuur van den kabel kan worden berekend. Daar een zeekabel op verschillende diepten ligt is van één bepaalde kabeltemperatuur natuurlijk geen sprake, en mag aan de verkregen uitkomst slechts de beteekenis van een gemiddelde worden toegekend

De *isolatieweerstand* van een kabel neemt bij toenemende temperatuur *af*. Voor elken graad Fahrenheit boven de normaalwaarde van 75 graden moet de normaalisolatieweerstand door 1,08 worden gedeeld, voor elken graad beneden de normaaltemperatuur met 1,08 worden vermenigvuldigd. Zoo is:

$R_{75}+t=Rn:1{,}08^{t}$ en

$R_{75}-t=Rn\times 1{,}08^{t}$.

Uit deze formules blijkt dat de isolatieweerstand zeer

snel met de temperatuur verandert. Bij 65 graden b. v. heeft de isolatieweerstand reeds meer dan het dubbele van de normaalisolatie bereikt, bij 85 graden is de isolatieweerstand overeenkomstig afgenomen tot minder dan de helft van de normaalwaarde.

Bij de metingen van een kabel na de legging of na eene reparatie wordt de gemiddelde temperatuur op de boven omschreven manier uit den gemeten koperweerstand berekend, en de uitkomst der isolatiemeting met behulp van deze berekende temperatuur tot 75 graden herleid.

Behalve door temperatuursverlaging neemt de isolatieweerstand ook toe door drukvermeerdering. Twee omstandigheden verhoogen bijgevolg den isolatieweerstand van een kabel in diep water. Zoo zijn in den Cocos-Rodriguez kabel isolatieweerstanden van 20.000 megohm per mijl gemeten. De normaalisolatie der kabels van het Ned.-Indische net variëert van 500 tot 2000 megohm per mijl.

§ 5. **Capaciteitsmeting.**

Deze meting gaat bij het meerendeel der ambtenaren voor wie deze handleiding bestemd is voor moeilijk door. Ten onrechte, want eene capaciteitsmeting is gemakkelijker en vooral sneller dan een koper- of isolatiemeting verricht, waarbij echter opgemerkt moet worden dat het meetresultaat op kabels wier lengte grooter is dan 300 mijl, zooals later blijken zal, niet geheel in overeenstemming is met de werkelijke kabelcapaciteit. Het komt er slechts op aan om de lading van den kabel, die bij de isolatiemeting ongemerkt door den kortsluitingssleutel vloeit, door den galvanometer te laten gaan, en dezen sleutel tijdens de lading dus *open* te houden. Het draadschema der verbindingen is dan ook geheel gelijk aan dat der isolatiemeting. Het ladingsverschijnsel loopt in een oogwenk af, de doorgang van de lading Ce (Hoofdstuk 1 § 7) geeft het galvanometerraampje een stoot, tengevolge waarvan het zich over een zekeren hoek draait, het lichtbeeldje over een zekeren schaalafstand wegschiet, welke afstand, in verband met de gebezigde shunt, een maat

is voor de kabellading, en, mede in verband met de gebezigde batterijsterkte, een maat voor de kabelcapaciteit.

De waargenomen afwijking wordt vergeleken met de afwijking welke het lichtbeeld verkrijgt wanneer dezelfde batterij een condensator van bekende capaciteit, door den galvanometer heen, laadt. Ook hier wordt die afwijking omgerekend tot den niet geshunten galvanometer en tevens tot een capaciteit van één microfarad. Daar de schokkende beweging van het draadraam analoog is met de bewegingen uit de leer der stooten of Ballistiek, spreekt men hier van een „Ballistische Constante", welke gedefinieerd wordt:

„Onder de Ballistische Constante van een galvanometer bij een zekere batterijsterkte verstaat men de afwijking van het lichtbeeld van den niet geshunten galvanometer indien de lading, welke deze batterijsterkte op een condensator van één microfarad verzamelen kan, door dien galvanometer wordt gejaagd.

Capaciteit wordt met hoogstens 10 elementen gemeten. Zij met een shuntcoefficient van 2, en met een normaalcondensator van 1/3 microfarad de galvanometer afwijking b.v. gelijk aan 160. Dan is de Ballistische Constante gelijk aan 160×2×3=960.

Zooveel malen als nu deze 960 in de afwijking bij de kabellading (deze natuurlijk herleid tot een shuntcoefficient=1) begrepen is, zooveel malen bedraagt de kabelcapaciteit één microfarad.

Het is noodzakelijk om bij capaciteitsmetingen een universaalshunt te gebruiken. Verklaring van het motief tot dezen eisch valt buiten het bestek van deze handleiding.

Bij een eerste meting valt het soms moeilijk de snelle beweging van het lichtbeeld te volgen. Men houde dan dat gedeelte van de schaal in het oog, tot waar het beeldje zich ongeveer verplaatst. Na eenige waarnemingen kan de afwijking dan zonder moeite tot één schaaldeel nauwkeurig afgelezen worden. Ook zal de praktijk leeren dat het moeilijk valt om af te lezen tot waar de verticale schaduwstreep, in het midden van het cirkelronde lichtbeeldje, uitwijkt. Daarom verschuive men de schaal totdat de nulstreep aan dien

cirkel raakt. Het verduisteren van de helft van het schaallensje, waardoor het lichtbeeld den vorm van een half maantje krijgt, vergemakkelijkt de aflezing evenzeer.

Men neme niet alleen den ladings- doch ook den ontladingsstoot waar. Om de beide aflezingen naar dezelfde schaalzijde te krijgen is het noodzakelijk een commutator voor den galvanometer te schakelen, en deze na elke aflezing om te zetten.

De tafel- en de kabelisolatie worden vooraf gecontroleerd. Zijn deze goed dan keert het lichtbeeld na de lading van den kabel in den nulstand terug en geven lading en ontlading eenzelfde afwijking. Laten zij te wenschen over dan zal een gedeelte der lading na het afzetten der batterij afvloeien en de ontlading bijgevolg een kleinere afwijking geven.

Het ladingsverschijnsel loopt op lange kabels niet in een onmerkbaar kleinen tijd af. De verplaatsing van het lichtbeeld is dan slechts een maat voor den eersten ladingsstoot, daar het ladingsproces na het uitslaan van den galvanometer nog eenigen tijd doorgaat. De waargenomen lading is bijgevolg kleiner dan de totale lading, en de berekende capaciteit valt lager uit dan het bedrag der werkelijke waarde. Kabels tot een lengte van 300 mijl worden met voldoende snelheid geladen om het resultaat van de beschreven meting vertrouwen te mogen schenken. Bij grooter lengten moet men zijn toevlucht nemen tot andere methoden, wier beschrijving buiten het bestek van deze handleiding valt.

Wegens de overanderlijkheid der capaciteit van een zeekabel kent men deze in den regel met grooter nauwkeurigheid uit de metingen gedurende de fabricage, dan uit metingen nà de legging verricht. Als periodieke meting heeft een capaciteitsmeting dan ook geen beteekenis. Toch verdient het aanbeveling dat Chefs van kabelkantoren de meting van tijd tot tijd verrichten, ter verkrijging der vaardigheid, vereischt bij de plaatsbepaling van een eventueel geïsoleerde kabelbreuk. (Hoofdstuk 6 § 5). De resultaten van niet verplichte metingen worden bij voorkeur op het model L_9 uitgeschreven.

HOOFDSTUK 6.

Plaatsbepaling van een kabelbreuk.

Gedurende de vier eerste jaren dat het Kabelschip „Telegraaf" den herstellingsdienst der Ned.-Indische kabels heeft waargenomen, zijn alle isolatiegebreken, welke verstoring der telegrafische gemeenschap tengevolge hebben gehad, aan totale kabelbreuken te wijten geweest. Een enkele maal werd een plaatsbepaling verricht op kabels, welker isolatie een gebrek vertoonde, al bleef ook de gemeenschap over den kabel ongestoord. Deze plaatsbepaling, waarbij tegelijkertijd van twee kanten wordt gemeten, komt dus zelden voor. Een bespreking der betreffende meetmethoden blijve niet alleen daarom achterwege, doch ook omdat voor eene behoorlijke uitvoering der meting eene ondervinding wordt vereischt, welke, uit den aard der zaak, niet dan onder bijzondere omstandigheden opgedaan kan worden.

§ 1. **Inleiding.** De plaatsbepaling van een totale kabelbreuk komt in de gevallen dat de koperen kern contact met het zeewater maakt op een gewone weerstandsmeting neer. Bij een periodieke kopermeting wordt het andere kabeleinde aan de aarde gelegd, bij een kabelbreuk ligt de koperen kern aan de aarde, en zal bijgevolg de van kabelhut tot breuk gemeten koperweerstand een maat voor den breuksafstand geven. De gevallen, waarbij eene afstandsbepaling volgens dit beginsel zonder meer tot een juiste uitkomst leidt, zijn zeldzaam. Zij komen alleen voor bij een innig contact van het zeewater met den koperen kern, of bij een toevallig contact van den kern met het messingband of met de beschermingsdraden.

In bijna alle gevallen ondervindt de stroom bij den overgang van het koper op het zeewater een overgangsweerstand, welke gewoonlijk aan groote veranderingen onder-

hevig is, en vele honderden, zelfs duizenden ohms bedragen kan. Bijgevolg vormt die overgangsweerstand in het meetresultaat een storenden factor, welke tientallen, zelfs honderdtallen van mijlen vertegenwoordigen kan. De opgaaf der plaatsbepaling bestaat dan in de splitsing van den met de brug gemeten weerstand in den eigenlijken koper- en den overgangsweerstand.

Wordt de negatieve pool op den kabel, de positieve pool aan de aarde gelegd dan neemt de overgangsweerstand af. Gaat de positieve stroom in den kabel en door het lek in zee dan neemt de overgangsweertsand toe. Dit verschijnsel is een gevolg van de scheikundige werking van den stroom. Het waarnemen dier werking ligt binnen ieders bereik. Men dompele een gutta-percha ader met een blank kopereinde in een emmer met zout water, verbinde den draad aan de negatievepool eener batterij van 5 tot 10 elementen, en de positieve pool aan den emmerwand. Bij stroomdoorgang ziet men aan het blanke kopereinde belletjes oprijzen, belletjes van waterstofgas. Het blanke koperdraad blijft blank, de overgangsweerstand neemt af. Vervolgens verwissele men de polen. De waterstofvorming houdt op, na eenigen tijd is de blanke koperdraad met een dun laagje van dof koperhydroxyde aangeslagen. De overgangsweerstand is toegenomen, zooals men zegt heeft de positieve stroom het lek „toegezegeld." Met een voorgeschakelden weerstand levert deze imitatie van een kabelbreuk een interessant object van studie voor de Chefs van kabelkantoren, die meetinstrumenten te hunner beschikking hebben. De bepaling van den overgangsweerstand, zoowel met de negatieve als met de positieve pool, bij kopercontacten die achtereenvolgens op lengten van 25-20-15-10-5 en nul millimeter afgesneden worden, geeft een beeld der weerstandsveranderingen, en in het algemeen van het gedrag van een zeecontact, hetwelk de beoordeeling der waargenomen verschijnselen bij een werkelijke plaatsbepaling gemakkelijker maakt.

De verplaatsing van den nulstand van het lichtbeeld is aan snelle variaties onderhevig. Het isolatielek werkt n.l. als een kleine accumulator, verplaatst den nulstand ter linker

of ter rechter zijde, al naar dat de negatieve of de positieve stroom der meetbatterij het kopercontact heeft aangetast. Het instellen van het Wheatstone's evenwicht, op den verplaatsten nulstand, hetgeen bij deze meting onvermijdelijk is, vereischt dientengevolge oefening en geduld.

Zooals bij de uitvoering der kopermeting al spoedig blijkt, is het raadzaam den verplaatsten nulstand af te lezen nadat de negatieve stroom even door het lek is gegaan. de batterij vervolgens afgezet. en de beweging van het lichtbeeld gevolgd is, totdat dit bijna of geheel tot rust is gekomen. Het Wheatstone's evenwicht wordt onmiddellijk daarop ingesteld, eerst met den negatieven. daarna met den positieven stroom, en de meting vervolgens eenige malen herhaald.

§ 2. Voorloopig onderzoek van het lek.

Alvorens de eigenlijke plaatsbepaling volgens de hieronder te beschrijven methode te beginnen, onderzoeke men het algemeen karakter van het lek. Men mete den weerstand, niet alleen met beide stroomen afwisselend op den kabel, doch met verschillende batterijsterkten. achtereenvolgens van 5-10-15 en 20 elementen. De ervaring zal leeren dat de overgangsweerstand in het algemeen met toenemende batterij afneemt. Men trachte dien overgangsweerstand zoo klein mogelijk te maken, waarbij gewoonlijk het meten met de negatieve pool van een regelmatig te versterken batterij tot het verlangde resultaat zal leiden. Soms zal het „branden" van het lek, dat is het met tusschenpoozen van eenige secunden commuteeren der meetbatterij, zoo mogelijk op te voeren tot, doch niet hooger dan 70 elementen, den overgangsweerstand tot een minimum terug brengen. Niet te spoedig ga men tot dit krachtmiddel over, niet dan nadat gebleken is dat de lekweerstand hardnekkig op een bepaald bedrag is blijven staan, daar het branden de ontwikkeling van mogelijke isolatiegebreken bevordert.

Uitvoeriger beschrijving zou hier niet baten. Eenig gevoel voor de zaak en eenige oefening zijn in de eerste plaats onmisbaar.

§ 3. De meting naar Kennelly.

De mogelijkheid om den onbekenden overgangsweerstand te elimineeren ligt in een door Kennelly, als resultaat van een groot aantal metingen vastgesteld regeltje, dat luidt: „Bij een koper-zeewater contact van eenige afmeting verandert de met de zinkpool gemeten overgangsweerstand omgekeerd evenredig met den vierkantswortel van de, door het contact gejaagde stroomsterkte."

Bij een stroomsterkte van b. v. 6 milliampère bedraagt de overgangsweerstand het tweevoud van de waarde bij 24 milliampère. Dit regeltje gaat ongeveer op wanneer de betreffende stroomsterkten tusschen 5 en 25 milliampère beperkt blijven.

De koperweerstand van den kabel tot aan het lek zij nu x ohm. De overgangsweerstand bij doorgang van 1 milliampère gelijk aan r ohm. Men verrichte achtereenvolgens twee metingen, met verschillende batterijsterkten, waarbij resp. i_1 en i_2 milliampère door het lek in zee stroomen. Deze stroomen i_1 en i_2 worden gemeten met een tusschen brug en kabel geschakelden milliampèremeter. Volgens het regeltje van Kennely bedraagt de overgangsweerstand bij de eerste meting $\frac{r}{Vi_1}$ en bij de tweede meting $\frac{r}{Vi_2}$ ohm. De uitkomst der eerste meting zij R_1, die der tweede meting R_2, dan is bijgevolg:

$$\left.\begin{array}{l} R_1 = x + \frac{r}{Vi_1} \\ R_2 = x + \frac{r}{Vi_2} \end{array}\right\}$$ twee vergelijkingen waaruit de onbekenden x en r opgelost kunnen worden.

Daar: $R_1 Vi_1 - x Vi_1 = r = R_2 Vi_2 - x Vi_2$

is: $R_1 Vi_1 - R_2 Vi_2 = x (Vi_1 - Vi_2)$

waaruit: $x = \frac{R_1 Vi_1 - R_2 Vi_2}{Vi_1 - Vi_2}$.

Worden de beide batterijsterkten nu zoo gekozen dat $i_1 = 4i_2$, zoodat $Vi_1 = 2Vi_2$ dan wordt: $x = 2R_1 - R_2$, waarbij R_1 de laagste der beide gevonden weerstanden is, gemeten met de grootste der beide stroomsterkten.

Men mete eerst met de hoogste, daarna met de laagste batterij en kieze de batterijen zoo dat de stroomsterkten respectievelijk 20 en 5 of 24 en 6 milliampère bedragen. De weerstand van den milliampèremeter wordt van het verkregen resultaat afgetrokken.

De practijk heeft geleerd dat de x—waarde naar Kennelly's formule gewoonlijk kleiner uitvalt dan de werkelijke, in ohms uitgedrukte breuksafstand. Verschillende electriciens hebben daarom getracht die formule te verbeteren. Meestal kwam deze verbetering neer op de vervanging van den vierkantswortel der stroomsterkten door een wortel met een anderen index, b.v. 1,5. In geen der formules ligt meer dan eene benadering van den feitelijken toestand. Welker toepassing een resultaat geven zal dat het meeste met de werkelijkheid overeenkomt is van te voren niet te zeggen, zoodat, ook om haar eenvoudigen vorm, de voorkeur aan Kennelly's formule gehecht moet blijven. Nadrukkelijk worde hieraan toegevoegd dat de overgangsweerstand niet meer dan ongeveer 50 ohm mag bedragen. Bij hooger overgangsweerstanden gaat Kennelly's regeltje niet meer op, en geeft de toepassing der formule onmogelijke resultaten.

§ 4. **Black's verplaatste nulstand.**

Mr. Black, Electrician der Eastern Extension Australasia and China Telegraph Company Ltd, heeft de boven besproken meting eene uitbreiding gegeven welke het meten minder vermoeiend maakt, terwijl in korter tijd een meer betrouwbaar resultaat kan worden verkregen. In de batterijtak, b.v. tusschen batterijsleutel en brug, schakelt Black een weerstandsbank, waarop een onderbrekingssleutel parallel verbonden wordt. Deze sleutel wordt geopend, vervolgens spanning op de brug gezet, de kortsluitingssleutel van den galvanometer neergedrukt en de galvanometershunt geregeld, totdat het lichtbeeld een passende afwijking krijgt. Er gaat nu een stroom door de fout in zee. Deze stroom bedwingt de vrije werking der fout, bestendigt een bepaalden toestand van het zeecontact, tengevolge waarvan de verplaatste nulstand nagenoeg onveranderlijk is. Wordt de extra onderbre-

kingssleutel nu neergedrukt, de extra weerstand in den batterijtak bijgevolg kort gesloten, dan neemt de spanning op de brug toe, en zal het lichtbeeld uitslaan zoolang het Wheatstone's evenwicht nog niet geregeld is. De regeltak worde dus zoo gesteld, dat het lichtbeeld bij open en gesloten onder brekingssleutel op de toegevoegde weerstandsbank denzelfden stand inneemt. Men leze de stroomsterkten bij gesloten onderbrekingssleutel af, en regele de batterijen weder zoo, dat de aflezingen 20 en 5 of 24 en 6 milliampère bedragen. Volgens een aan de practijk ontleend voorschrift wordt de extra weerstand zoo geregeld, dat het aantal milliampère bij gesloten onderbrekingssleutel ongeveer het dubbele van dat aantal bij open onderbrekingssleutel bedraagt.

Het sluiten van dezen sleutel geeft een ladingsstoot in den kabel, waardoor het lichtbeeld even wegschiet. Doch in een oogwenk is dit ladingsverschijnsel afgeloopen, en kan men nagaan of het lichtbeeld in den oorspronkelijken stand is teruggekeerd, of dat het ter linker of ter rechter zijde is verplaatst. Mocht het ladingsverschijnsel storend werken dan sluite men den galvanometer even kort gedurende het neerdrukken van den onderbrekingssleutel.

§ 5. Plaatsbepaling door middel van capaciteitsmeting.

Het komt een enkele maal voor dat de koperkern ter plaatse van de breuk volkomen geisoleerd is. De plaatsbepaling loopt dan met een enkele capaciteitsmeting af. Behoudens eene restrictie, volgende uit § 5 in Hoofdstuk 5, voorlaatste alinea, levert deze plaatsbepaling de meest betrouwbare resultaten.